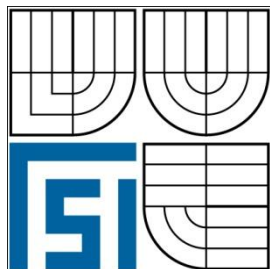


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## **TECHNOLOGIE VÝROBY ZÁŘIČE** **TECHNOLOGY OF EMITTER PRODUCTION**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**PETR ŠROTÍŘ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**doc. Ing. MILAN DVOŘÁK, CSc.**

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Petr Šrotíř

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Technologie výroby zářiče**

v anglickém jazyce:

### **Technology of emitter production**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh beztržiskové technologie výroby tělesa zářiče z ocelového plechu. Navrženou technologii porovnat se stávající technologií obráběním a provést ekonomický rozbor. Roční produkce je plánovaná 1000 ks zářičů.

Cíle bakalářské práce:

Návrh nového technologického postupu výroby tělesa zářiče doložený výkresovou dokumentací a ekonomickým rozbohem.

Seznam odborné literatury:

- 1.BAČA, Jozef; BÍLIK, Jozef; TITTEL, Viktor. Technológia tvárnenia. 1.vyd. Bratislava : STU, 2010. 245 s. ISBN 978-80-227-3242-0.
2. BOLJANOVIC, Vukota. Sheet Metal Forming Processes and Die Design. 1.st. ed. New York: Industrial Press. 2004. 219p. ISBN 0-8311-3182-9.
- 3.FOREJT,Milan; PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 26.10.2010

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## Abstrakt

Cílem bakalářské práce je porovnat technologii výroby zadaného výtažku rotačním tlačením a hlubokým tažením. Jedná se o díl *zářič*, vyrobený ze zadaného plechu. Díl bude tažen v experimentálním tažidle a bude provedeno ekonomické zhodnocení při výrobě série v počtu 1 000 kusů.

### Klíčová slova

tváření, rotační tažení, přístřih, hluboké tažení, výtažek, protahování, tažný nástroj, zářič

## Abstract

The goal of this bachelor thesis is to compare the technologies of production of given workpiece using the technology of spinning and deep drawing. The object of this project is an emitter and is supposed to be made of sheet metal. The workpiece will be deep drawn in the experimental drawing tool. An economic review by production of 1000 pieces will be worked out at the end of the bachelor thesis.

### Key words

forming, spinning, blank, deep drawing, part, dimpling, drawing tool, emitter

## Bibliografická citace

ŠROTÍŘ, Petr. *Technologie výroby zářiče*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 37 s., 9 příloh. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Technologie výroby zářiče vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 20. 5. 2011

.....  
Petr Šrotíř

## Poděkování

Děkuji tímto panu doc. Ing. Milanu Dvořákovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

# Obsah

1	Úvod .....	9
2	Teorie stříhání materiálu .....	10
2.1	Střížný proces.....	10
2.2	Technologické zásady stříhání .....	10
2.3	Kvalita střížné plochy .....	11
2.4	Střížná vůle.....	12
2.5	Nedokonalosti střížného procesu .....	13
2.6	Klasické stříhání .....	13
2.7	Přesné stříhání .....	13
2.8	Alternativní řešení.....	13
2.8.1	Dělení laserovým paprskem .....	13
3	Rotační tlacení plechu .....	14
3.1	Rotační tlacení bez změny tloušťky stěny .....	14
3.2	Rotační tlacení se změnou tloušťky plechu .....	14
3.3	Procesní parametry rotačního tlacení.....	14
3.4	Výroba součásti rotačním tlacením.....	15
4	Technologie tažení.....	16
4.1	Technologické parametry tažení .....	16
4.2	Technologičnost konstrukce výtažků .....	16
4.3	Určení polotovaru pro rotační výtažky .....	17
4.4	Počet tažných operací .....	18
4.5	Volba přidržovače.....	19
4.6	Přidržovací síla .....	20
4.7	Tažná síla .....	20
4.8	Tažná práce .....	20
4.9	Tažný nástroj.....	21
4.10	Tažná mezera .....	21
4.11	Zaoblení tažníku a tažnice.....	21
5	Technologie protahování .....	22
5.1	Průměr otvoru.....	22
5.2	Výška příruby .....	23
5.3	Lemovací síla .....	23
6	Maziva pro plošné tváření .....	24
7	Návrh vlastního technologického řešení .....	25
7.1	Popis a funkce součásti.....	25
7.2	Nákres součásti zářič .....	26
7.3	Zvolený materiál .....	27
7.4	Zkouška tažnosti.....	27
8	Technologické výpočty.....	29
8.1	Výpočet přístřihu.....	29
8.2	Počet tažných operací .....	29
8.3	Nutnost použití přidržovače .....	29



8.4	Přidržovací síla.....	30
8.5	Tažná síla.....	30
8.6	Celková tažná síla.....	30
8.7	Tažná práce .....	30
8.8	Poloměr zaoblení hran tažníku a tažnice .....	30
8.9	Tažná mezera .....	31
8.10	Průměr otvoru při lemování .....	31
8.11	Výška příruby .....	31
8.12	Lemovací síla .....	31
9	Návrh sdruženého experimentálního nástroje .....	32
10	Ekonomické zhodnocení.....	33
10.1	Ekonomické aspekty výroby soustružením na CNC soustruhu .....	33
10.1.1	Materiálové náklady.....	33
10.1.2	Výrobní náklady .....	33
10.1.3	Celkové náklady na výrobu součásti metodou soustružení .....	34
10.2	Ekonomické aspekty výroby za použití SDEN.....	34
10.2.1	Zajištění polotovaru – rondelů .....	34
10.2.2	Vytlačení rondelu do tvaru zářiče – dokončení výroby .....	34
10.2.3	Celkové náklady na výrobu metodou použití SDEN.....	35
10.3	Porovnání ekonomické efektivity obou výrobních metod .....	35
11	Závěr .....	37

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých zkratk a symbolů

Seznam příloh

# 1 Úvod

Technologie tváření kovů a slitin představuje výrobní proces, při němž dostávají polotovary po zpracování konkrétní navržený tvar za působení vnějších sil bez porušení materiálu. Technologie tváření patří do oblasti beztržiskových technologií. Tváření má ve strojírenské výrobě velký význam. Jedná se o ekonomicky efektivní technologii, která se převážně uplatňuje v sériové a hromadné výrobě. [4]

Technologie se dělí na plošné a objemové. V bakalářské práci se budu zabývat plošným tvářením, které zahrnuje technologické operace stříhání, ohýbání, tažení a tvarování plechu např. technologii rotačního tlacení plechu (kovotlačení).

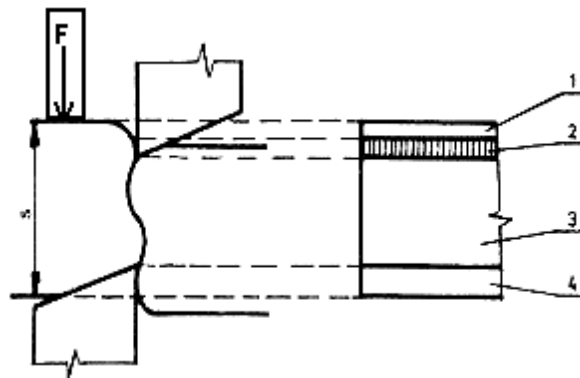
Výsledek bakalářské práce bude využit při výrobě součásti *zářič*, která je součástí přístroje MiniExplonix. Tento přístroj slouží k detekci výbušnin.

## 2 Teorie stříhání materiálu

Stříhání je základní operací dělení materiálu, která je u kovů zakončena porušením – lomem v ohnisku deformace. Vlastní plastická deformace je sice původním, ale zároveň nežádoucím jevem. Materiál se odděluje postupně, nebo současně podél křivky stříhu, vytvořené relativním pohybem dvou břitů, které vytváří střížné – smykové napětí. [7]

### 2.1 Střížný proces

Podstata stříhání spočívá v oddělování materiálu protilehlými břity nožů. Oddělení nenastane v přesně žádané rovině. Je to proto, že materiál je elastický, tvárný a smykové napětí způsobuje tlak nožů na celé ploše. Proces stříhání se přibližuje víceméně čistému smyku. Střížná plocha má tvar písmene „S“. Stříhání probíhá ve 3 fázích a střížná plocha se skládá ze čtyř částí. Viz obr. 1



Obr. 1 – Pásma na střížné ploše [4]

- 1 - pásmo zaoblení tzv. první fáze stříhání představuje oblast pružné deformace. Bývá 5 až 8 % tloušťky stříhaného materiálu.
- 2 - pásmo vlastního stříhu tzv. druhé fáze stříhání představuje oblast plastické deformace a činí v závislosti na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu 10 až 25 % jeho tloušťky.
- 3 - pásmo utržení tzv. třetí fáze stříhání představuje nejširší oblast na střížné ploše. Šířka pásma přibývá s tvrdostí a křehkostí stříhaného materiálu. Dochází zde k oddělení materiálu.
- 4 - pásmo otláčení od spodního nože. V závislosti na vlastnostech stříhaného materiálu a střížné vůli může dojít v pásmu otláčení k výskytu ostřiny v důsledku vytažení materiálu tahovými složkami napětí. [4]

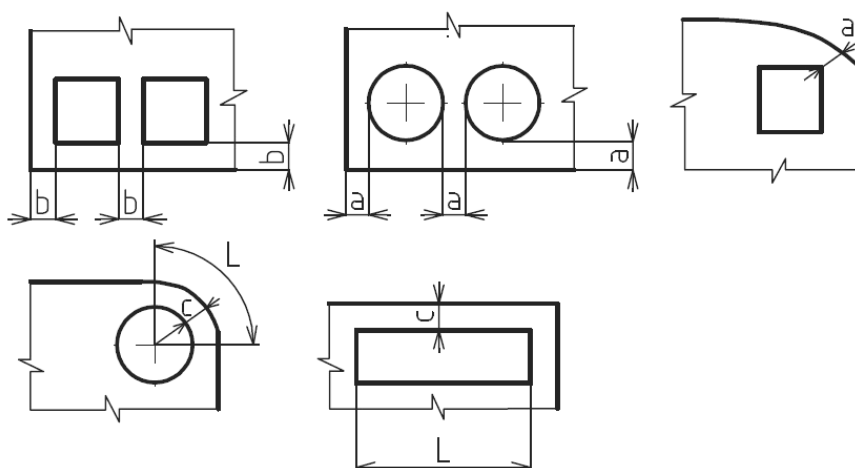
### 2.2 Technologické zásady stříhání

Výstřižky je třeba zhodnotit z hlediska:

- materiálu – běžně se stříhají materiály do pevnosti 1000 – 1200 MPa
- tvaru a rozměru – přesnost výstřižků je IT 12 – IT 14, v některých případech se dá dosáhnout přesnosti IT 9 – IT 11 a při přesném stříhání IT 6 – IT 8. Každý požadavek ke zvýšení přesnosti dílců zvyšuje náklady.

Podle možností je snaha nesnižovat tolerance. Dále je třeba respektovat tyto požadavky:

- pokud není nutné, nepředepisovat na stříhané ploše drsnost povrchu menší, než odpovídá utržené ploše, tj.  $R_a = 3,2$  až  $6,3 \mu\text{m}$ ,
  - podle možností nepředepisovat přísné tolerance pro rovinnost výstřižku,
  - nejmenší otvor při děrování měkké oceli má být větší jak  $\varnothing 1 \text{ mm}$  a při tvrdé oceli větší než  $\varnothing 1,5 \text{ mm}$ , přičemž se zvětšováním tloušťky tyto minimální hodnoty rostou,
  - je třeba dodržet minimální vzdálenosti mezi otvory nebo od okrajů. Pro polotvrdé oceli na tyto vzdálenosti platí hodnoty podle obr. 2. a pro měkké oceli je třeba tyto hodnoty zvýšit o 20 – 25 %,
  - vystupující části mají mít nejmenší šířku  $s = 1,5 \cdot t$  ( $t$  – tloušťka stříhaného materiálu),
  - vystupující části mají mít minimální výšku  $1,2 \cdot t$ ,
  - podle možností by měly být rohy na výstřižcích sražené nebo zaoblené,
  - plynulé přechody poloměrů do přímek nejsou výhodné,
  - při děrování volit podle možností kruhové otvory,
  - při vystřihování nejsou kruhové tvary obrysů výhodné z hlediska využití materiálu,
  - z hlediska využití materiálu také nejsou vhodné rozbíhající se členité tvary.
- [1]



Obr. 2 – Velikost přepážek při stříhání [1]

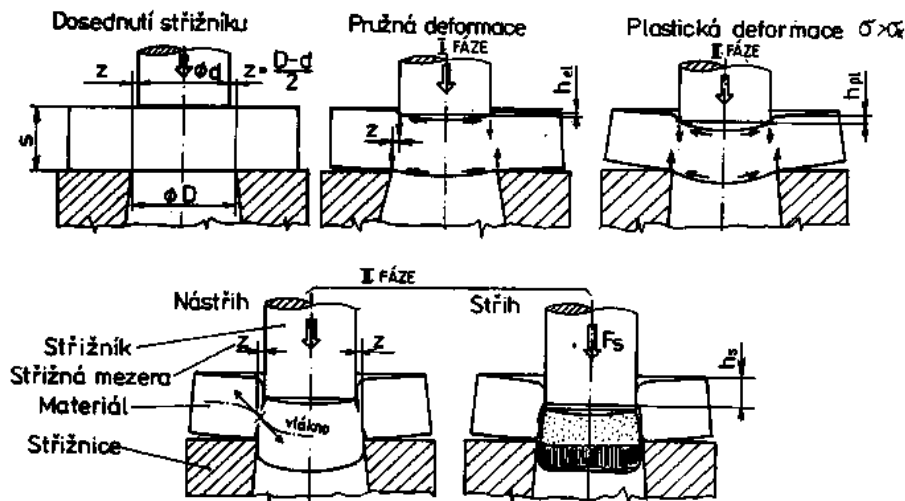
## 2.3 Kvalita střížné plochy

Na kvalitu střížné plochy má rozhodující vliv střížná mezera ( $z$ ) mezi noži. Velikost střížné mezery ( $z$ ) je závislá nejen na mechanických hodnotách stříhaného materiálu, ale také na jeho tloušťce. Pokud se trhlinky vytvářející se při stříhání u obou střížných nožů spojí v jednu střížnou plochu, byla velikost střížné mezery pro konkrétní materiál stanovena správně.

Při běžném způsobu stříhání plechů je plocha výstřižku mírně zkosená s drsností povrchu  $R_a 3,2$  až  $6,3 \mu\text{m}$ . Materiál je kolem čáry stříhu zpevněn. [4]

## 2.4 Střížná vůle

Při stříhání s normální vůlí se trhliny v okamžiku stříhu setkají. Viz obr. 3



Obr. 3 – Průběh stříhání s normální střížnou vůlí  $v = 2z$  [7]

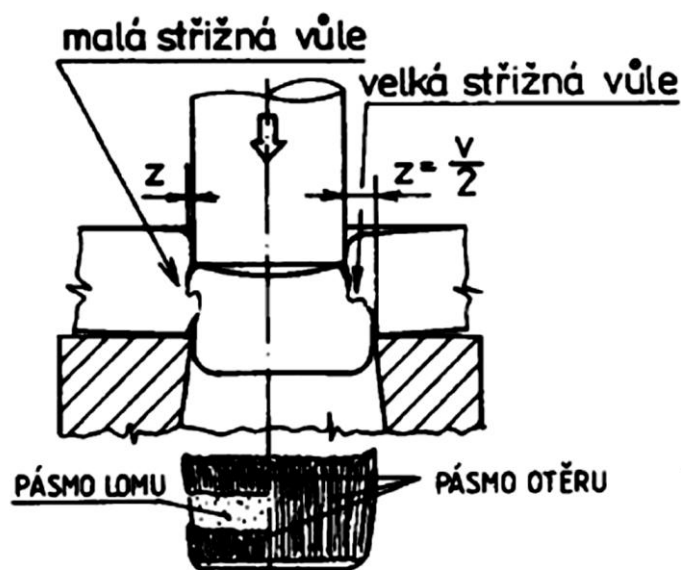
$$v = 2z \quad (2.1)$$

kde:

$v$  – střížná vůle [mm]

$z$  – střížná mezera [mm]

Nástřih při malé i velké střížné vůli, má za následek rozšíření pásma otěru na větší část střížné plochy. Viz obr. 4 [7]



Obr. 4 - Schéma stříhání při malé a velké střížné vůli [7]

## 2.5 Nedokonalosti střížného procesu

Nedokonalosti vycházejí se zákonitostí střížného procesu:

- drsnost střížné plochy je dána průběhem deformace a jakostí materiálu,
- střížná plocha je zkosená vlivem střížné vůle,
- podél střížné plochy dochází k zaoblení a zeslabení tloušťky výstřížku,
- střížná plocha je zpevněna do určité hloubky,
- u některých výstřížků dochází k jejich prohnutí v důsledku ohybového momentu obou složek střížné síly. [6]

## 2.6 Klasické stříhání

Tento způsob stříhání slouží k oddělování materiálu z tabulí, pruhů a pásů na polotovary ohraničené přímkami nebo křivkami stříhu. Stříhání se provádí na tabulových nebo na kotoučových nůžkách. Klasické stříhání se používá v zámečnických a klempířských dílnách při kusové nebo malosériové výrobě a proto s ním nebude v této bakalářské práci dále uvažováno. [9]

## 2.7 Přesné stříhání

Pod pojmem technologie přesného stříhání se rozumí souhrn metod (variant) stříhání plechů a pásů ve stříhadlech, jimiž lze dosáhnout kvalitní, hladké střížné plochy kolmé k rovině plechu a rozměrové přesnosti vyrobených součástí v rozmezí IT 6 až IT 9. Technologie přesného stříhání je ekonomicky výhodná při minimální výrobní sérii 40 000 kusů a z tohoto důvodu s ní také nebude v této bakalářské práci uvažováno. [5]

## 2.8 Alternativní řešení

Je mnoho způsobů, jakými lze v dnešní době dělit materiál. Na významu nabývají nekonvenční způsoby dělení materiálu, např. obráběním paprskem plazmy, paprskem laseru a paprskem vody. Dělení plechů do tloušťky 12 mm laserovým paprskem je v současné době hodně využívanou metodou. Výhody tohoto způsobu dělení materiálu budou dále popsány v ekonomickém zhodnocení.

### 2.8.1 Dělení laserovým paprskem

Dělení laserovým paprskem je velice efektivní způsob s ohledem na úzký a přesný řez bez ostřin ( $\pm 0,1$  mm). Nejčastěji se používají CO<sub>2</sub> lasery o výkonu 0,4 až 2 kW a pro vysoce legované materiály YAG lasery s vyšším výkonem např. 4 kW. Tímto způsobem lze dělit jak kovové (uhlíkové a legované oceli), tak i nekovové materiály (např. keramiku, plastické hmoty apod.). [4]

### 3 Rotační tlačení plechu

Tato technologie byla původně nazvaná kovotlačení (kroužlení). Jedná se o rotační způsob výroby vypouklých a vydutých tvarů dílců, jejichž výroba je obtížná, zvláště, je-li požadována nestejná tloušťka stěny v různých místech pláště dutého dílce. [5]

#### 3.1 Rotační tlačení bez změny tloušťky stěny

Rotačním tlačáním s ručním vedením nástroje na zařízení, které je obdobou konstrukce běžných soustruhů, lze zpracovávat ocelový plech zpravidla do tloušťky 1,5 mm a plech z duralu do tloušťky 2 mm. Technologii kovotlačení se zpracovávají hliníkové plechy a jejich slitiny, měď, mosazi, plechy z antikorozních ocelí a běžné konstrukční oceli apod.



Obr. 5 – Ukázka původního kovotlačitelského soustruhu

#### 3.2 Rotační tlačení se změnou tloušťky plechu

Technologie rotačního vytlačování je proces tvarování tlustostěnného polotovaru na tvárnici pomocí kladek, přičemž dochází k záměrnému ztenčování stěny výtlačku. Výchozí tloušťka dna příp. příruby je zachována. [5]

#### 3.3 Procesní parametry rotačního tlačení

##### Stupeň deformace

Stupeň deformace  $K$  při rotačním tlačení je dán poměrem průměru polotovaru  $D$  a vnitřního průměru výtlačku  $d$ .

$$K = \frac{D}{d} \quad [-] \quad (3.1)$$

Maximální hodnota stupně deformace při rotačním tlačení je omezena:

- Vznikem vln v přírubě v důsledku tangenciálního napětí nebo trhlin na okraji příruby od ohybového napětí.
- Vznikem trhlin v přechodu mezi přírubou a válcovou částí výtlačku působením napětí od axiální posuvové síly tlačného nástroje. Pro výtlačky ze slitin hliníku je mezní hodnota  $K = 2$  až 2,5 pro 1. operaci.

- Dosažitelný stupeň deformace. Dosažitelný stupeň deformace závisí na druhu materiálu, tvaru součásti a je dán vztahem:

$$\varepsilon = \frac{t_0 - t_1}{t_0} = 1 - \sin \alpha \quad [-] \quad (3.2)$$

kde:

$t_0$  – výchozí tloušťka polotovaru [mm]

$t_1$  – tloušťka po rotačním tlačením [mm]

Při rotačním tlačením kuželů z nízkouhlíkatých a nerezavějících ocelí nepřesahuje  $\varepsilon$  hodnotu 70 až 75 %.

### Problematika obvodové rychlosti tvárnice a volba velikosti posuvu

Otáčky tvárnice pro různé materiály a složité tvary dílců se doporučuje experimentálně odzkoušet. Kvalitu povrchu hotového kuželového výtlaku, jeho přesnost rozměrů a vznik případných defektů ovlivňuje vedle hodnot  $\varepsilon$  značně i strojní posuv.

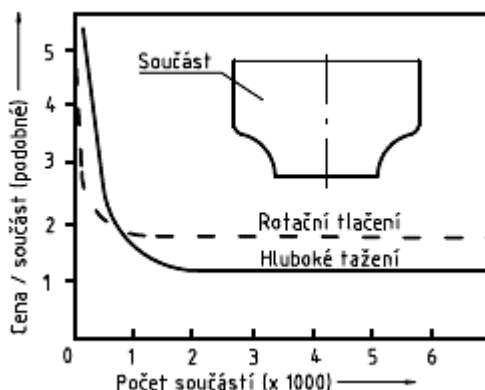
Hodnota posuvu:

- 0,125 až 0,25 mm·ot<sup>-1</sup> – vede ke zlepšení kvality povrchu
- 0,6 až 0,75 mm·ot<sup>-1</sup> – lepší přilehnutí dílce, ale horší kvalita povrchu

Existují mezní digramy souvislosti posuvu, drsnosti a úhlu  $\alpha$ .

### 3.4 Výroba součásti rotačním tlačením

Výroba zadané součásti Zářič byla experimentálně ověřena původní technologií na ručním kovotlačitelském soustruhu, viz (obr. 5). Hotová součást vykazovala na plášti otisky stop po kladce. V nejširším v místě největšího průměru se součást rozšiřovala o 2 až 3 mm. Tato vada by se dala odstranit změnou procesních parametrů rotačního tlačením. Vzhledem k nízké produktivitě práce na původních kovotlačitelských strojích a nižší kvalitě povrchu se rotační tlačením nejvíce jako vhodná technologie pro výrobu zadané součásti Zářič, viz graf 1. Technologie rotačního tlačením nebude dále uvažována. Experimentálně proto byla ověřena technologie tažení.

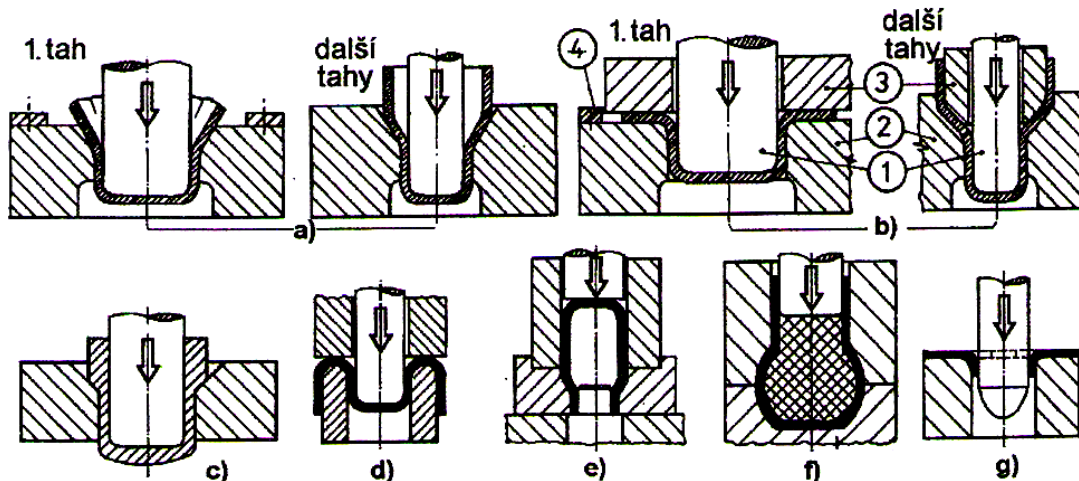


Graf 1 – Srovnání cen výroby kruhového výtažku mezi konvenčním rotačním tlačením a hlubokým tažením [3]



## 4 Technologie tažení

Tažení plechu je přetvoření rovinného přístřihu v duté těleso. Jde o prostorový ohyb do nerozvinutelného tvaru bez podstatného zeslabení tloušťky stěny nebo se zeslabením stěny v jedné i více tažných operacích. Rozdělení základních rotačně symetrických způsobů tažení plechu podle ČSN 22 60 01 je na obr. 6. Existuje řada dalších aplikací metod tažení při výrobě rozmanitých tvarů výtažků a také metody tažení s využitím kapaliny a pružných médií. [7]



Obr. 6 – Základní způsoby tažení plechu [7]

*a – tažení bez přidržovače 1. a další tahy, b – tažení bez přidržovače 1. a další tahy, c – tažení se zeslabením stěny, d – zpětné tažení, e – zužování, f – rozšiřování, g – lemování, 1 – tažník, 2 – tažnice, 3 – přidržovač, 4 - lišta*

### 4.1 Technologické parametry tažení

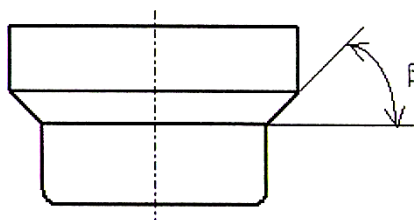
K dosažení kvalitního výtažku s požadovanou přesností je nutné dodržet optimální technologicko – konstrukční parametry v procesu tažení. Volba vhodného plechu, tažného nástroje, maziva a typu lisu je nezbytná. [5]

### 4.2 Technologičnost konstrukce výtažků

Z hlediska kvality a ekonomičnosti výroby výtažku by měl být jeho tvar co nejjednodušší. Složitý tvar výtažku zvyšuje počet operací a snižuje trvanlivost nástrojů. Při konstruování výtažků by se měly dodržovat tyto zásady:

- Při tažení odstupňovaných výtažků nemá být rozdíl průměrů příliš velký. V opačném případě je lepší výtažek rozdělit na dvě nebo více částí, které se dodatečně spojí nalisováním, svařením apod.
- Při tažení i relativně mělkých výtažků se širokými přírubami se zvyšuje počet tažných operací a vzniká potřeba i mezioperačního žíhání.
- Na velkých a středně velkých výtažcích má být obrys příruby stejného, nebo podobného tvaru jako je obrys výtažku.

- Při tažení výtažků s přírubou se však musí dodržovat pravidlo nejmenší šířky příruby, a proto pro průměr příruby  $D$  musí platit  $D \geq d + 12 \cdot t$ , kde  $d$  – průměr výtažku,  $t$  – tloušťka plechu.
- Nezvyšovat zbytečně výšku výtažku, protože každé zvýšení výtažku může vést ke zvýšení počtu tahů.
- Přejížděvací poloměry mezi dnem a pláštěm výtažku, mezi pláštěm a přírubou, přejížděvací poloměry mezi stěnami výtažku u hranatých výtažků nemůžou být libovolně malé a jsou dány zásadami konstruování tažných nástrojů. Při požadavku menších přejížděvacích poloměrů je nutné zařadit kalibrování poloměrů po tažení.
- Nepředepisovat, pokud to není nutné, tolerance na tloušťku stěny výtažku.
- Otvory ve výtažku se mohou děrovat pouze tehdy, když pro vzdálenost otvorů ode dna výtažku  $h_d$  platí  $h_d \geq t + 2 \cdot d_{otv}$ , kde  $t$  – tloušťka plechu,  $d_{otv}$  – průměr otvoru.
- Přechody mezi průměry odstupňovaných výtažků mají být kuželové, skloněné pod úhlem  $\beta = 45^\circ$ , podle obr. 7.



Obr. 7 – Správně navrhnutý přechod mezi průměry odstupňovaných výtažků [1]

- Velké ploché části výtažků by se měly vyztužit vhodným tvarováním, např. lemováním, žlábkováním apod. Pro rozestup mezi přelisy by mělo platit, že rozestup přelisů nemá být menší než trojnásobek šířky přelisu. Vzdálenost přelisu od okraje nemá být menší než trojnásobek tloušťky plechu. [1]

### 4.3 Určení polotovaru pro rotační výtažky

Na rotačním výtažku, kde polotovar má kruhový tvar, se konečný průměr polotovaru  $D_0$  určí z rovnosti objemů materiálu (resp. ploch) před a po tažení. Polotovar se určí výpočtem dle vzorců z odborné literatury nebo grafickou metodou. [1] [4] V každém případě se musí vypočítaný průměr zvětšit o přídavek na odstřižení, např. 5%. Všeobecně však pro rotační výtažky platí:

$$S_{pol} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = S_{výt} \Rightarrow D_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot S_{výt}} \quad [\text{mm}] \quad (4.1)$$

kde:

$D_0$  - průměr přístřihu [mm]

$S_{pol}$  - plocha polotovaru [mm<sup>2</sup>]

$S_{výt}$  - plocha výtažku [mm<sup>2</sup>]

U nepravidelného tvaru výtažku lze použít metodu grafickou. Z praktických důvodů a vzhledem k navrženému technologickému postupu výroby finálního tvaru součásti zářiče a následně vzhledem k jeho experimentálnímu zhotovení bude použit vzorec:

$$D_0 = \sqrt{d^2 + 4 \cdot d \cdot h} \quad [\text{mm}] \quad (4.2)$$

kde:

d – průměr válcového výtažku [mm]

h – výška výtažku [mm]

#### 4.4 Počet tažných operací

Hluboké tažení dílců z plechu patří k nejnáročnějším operacím plošného tváření. Přístřih plechu (rondel, kruhovka) je přetvářen do podoby dutého, prostorového tělesa za podmínek dvojsového stavu deformace. S hledem na stabilitu tažného procesu existují určitá omezení pro výtažky, co do rozměru a tvaru, které lze v jedné operaci vyrobit. [6]

##### Tažení z plochého přístřihu (první tah)

- stanovení průměru výchozího polotovaru - vychází se z povrchu výtažku  $S_{vyt}$  [mm<sup>2</sup>], viz vzorec (4.1)
- určení poměrné tloušťky polotovaru

$$\frac{t}{D_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.3)$$

kde:

t – tloušťka materiálu [mm]

Poměrná tloušťka se porovná se sloupcem příslušného rozsahu hodnot v tab. 1. Hodnoty součinitelů v tabulce jsou označeny  $m_0$  až  $m_4$ .

Číslo tahu	Součinitel tažení	Poměrná tloušťka polotovarů $t/D \cdot 100 [\%]$					
		2,0 - 1,5	1,5 - 1,0	1,0 - 0,6	0,6 - 0,3	0,3 - 0,15	0,15 - 0,08
1.	$m_0 = d_1/D$	0,50	0,53	0,55	0,55	0,60	0,63
2.	$m_1 = d_2/d_1$	0,75	0,76	0,78	0,78	0,80	0,82
3.	$m_2 = d_3/d_2$	0,78	0,79	0,80	0,80	0,82	0,84
4.	$m_3 = d_4/d_3$	0,80	0,82	0,86	0,82	0,85	0,86
5.	$m_4 = d_5/d_4$	0,82	0,84	0,85	0,85	0,87	0,88

Tab. 1 – Hodnoty  $t/D \cdot 100 [\%]$  a součinitelé tažení (převrácená hodnota součinitele tažení je stupeň tažení  $K = 1/m$ ) [6]

- orientační stanovení počtu nezbytných tažných operací n:

Z tab. 1 se odečtou hodnoty  $m_0$  a  $m_1$  a dosadí se do vztahu:

$$n=1+\frac{\log d - \log (m_0 \cdot D)}{\log m_1} \quad [-] \quad (4.4)$$

Je-li  $n \leq 1,2$  předpokládá se zhotovení výtažku v jednom tahu, je-li  $n > 1,2$  potom se jedná o dva, případně více tahů.

#### 4.5 Volba přidržovače

Použití přidržovače při tažení se kontroluje podle empirických vztahů [7]. Podle normy ČSN 22 7301 se určuje součinitel  $u$  dle (4.5), kde  $z_s$  - je materiálová konstanta:

- $z_s = 1,9$  pro hlubokotažný ocelový plech
- $z_s = 1,95$  pro mosazný plech
- $z_s = 2$  pro hliníkový plech

$$u = 50 \left( z_s - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) \quad [-] \quad (4.5)$$

- s přidržovačem

$$u \geq \frac{100 \cdot d}{D_0} \quad [-] \quad (4.6)$$

- bez přidržovače

$$u < \frac{100 \cdot d}{D_0} \quad [-] \quad (4.7)$$

V praxi se potřebný přidržovací tlak nastavuje experimentálně tak, aby nedocházelo ke zvlnění příruby nebo ke vzniku trhlin.

Tažený materiál - plech	$p_p$ [MPa]
Hlubokotažný plech	2,0 ÷ 3,0
Nerez oceli	2,0 ÷ 5,0
Měď	1,2 ÷ 1,8
Hliník	0,8 ÷ 1,2
Mosaz	1,5 ÷ 2,0

Tab. 2 – Měrný tlak přidržovače [7]

## 4.6 Přidržovací síla

K výpočtu přidržovací síly  $F_p$  se používá vzorec:

$$F_p = S \cdot p_p \quad [\text{N}] \quad (4.8)$$

kde:

$S$  – účinná plocha přidržovače [ $\text{mm}^2$ ]

$p_p$  – specifický tlak přidržovače - viz tab. 2 [4]

## 4.7 Tažná síla

Tažná síla  $F_t$  se během tažení mění. V první fázi tažení vzrůstá až do bodu, který odpovídá hloubce tažení. Dále vzrůstá vlivem zpevňování materiálu, pak nastane zlom a síla začne klesat. Skutečná tažná síla  $F_t$  musí být menší než maximální síla  $F_{t \max}$ , při které dochází k utržení dna v přechodu z rádiusu do pláště rotačního výtažku. [4] V praxi se používá orientačně síla na utržení dna podle vztahu:

$$F_t < F_{t \max} = \pi \cdot d \cdot t \cdot R_m \quad [\text{N}] \quad (4.9)$$

kde:

$F_t$  – skutečná tažná síla [N]

$R_m$  – mez pevnosti materiálu [MPa]

### Celková síla při tažení

Celková síla při tažení  $F_c$  je součet tažné síly a síly přidržovače:

$$F_c = F_t + F_p \quad [\text{N}] \quad (4.10)$$

kde:

$F_c$  – celková tažná síla [N]

$F_p$  – přidržovací síla [N]

## 4.8 Tažná práce

$$A = \frac{C \cdot F_c \cdot h}{1000} \quad [\text{J}] \quad (4.11)$$

kde:

$C$  – součinitel zaplnění grafu [-]

$C = 0,66$  – při tažení bez kalibrování [-]

$C = 0,80$  – při tažení s kalibrováním [-]

$h$  – vnitřní výška výtažku [mm]

## 4.9 Tažný nástroj

Ke stanovení tvaru a návrhu konstrukce tažného nástroje je vedle požadované geometrie a funkce výtažku důležité znát technologické parametry tažení a rozlišení tažidel pro první operaci a tažidel pro další tahy. Znalost materiálu, jeho mechanické vlastnosti, tloušťky a celkové kvality je bezpodmínečně nutná. [7]

## 4.10 Tažná mezera

Volí se větší než je tloušťka plechu a jen při kalibraci je stejná. Běžně podle ČSN 22 7301 je  $z_t = 1,2 \cdot t$  [mm]. Příliš velká tažná mezera způsobuje zvlnění výtažku a menší zvyšuje tažnou sílu nebo může způsobit utržení dna. [7]

## 4.11 Zaoblení tažníku a tažnice

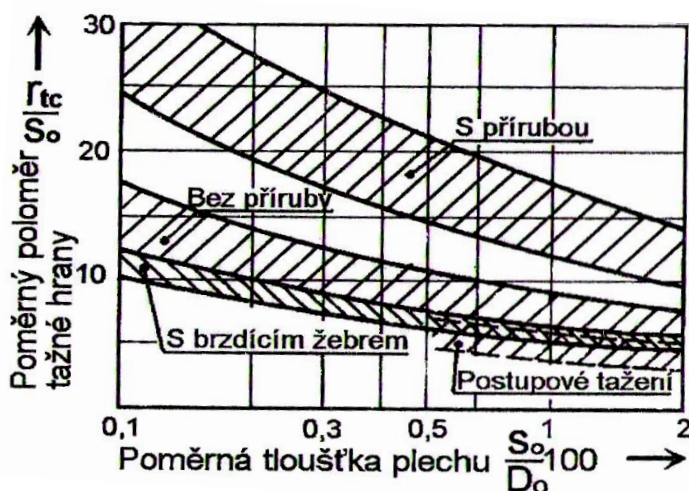
Na úspěch tažení má tvar a zaoblení tažné hrany tažnice a tažníku rozhodující vliv.

### Poloměr tažné hrany tažnice

Tento poloměr má rozhodující vliv na, rozměrovou přesnost a kvalitu výtažku. Podle ČSN se pro jednooperační tažení doporučuje poloměr tažné hrany tažnice  $r_{tc}$  v rozmezí  $r_{tc} = (6 - 10) \cdot t$

$$r_{tc} = 0,8 \cdot \sqrt{t \cdot (D_o - d)} \quad [\text{mm}] \quad (4.12)$$

Doporučené hodnoty poloměru tažné hrany tažnice pro různé typy výtažků jsou uvedeny v grafu č. 2



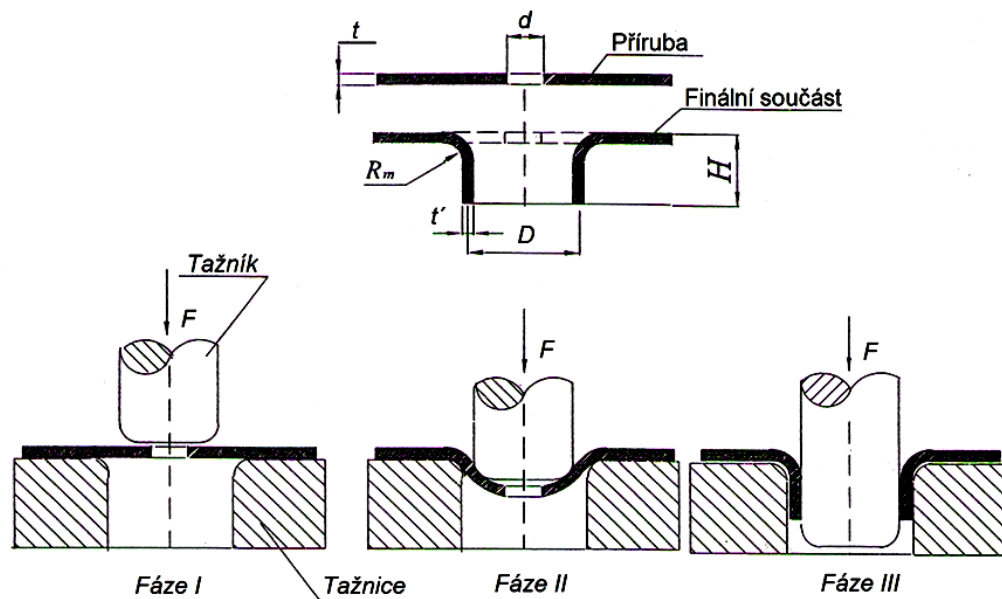
Graf 2 – Graf ke stanovení poloměru tažné hrany [7]

### Poloměr zaoblení tažníku

Vychází z poloměru tažné hrany tažnice a pro mezitahy se obvykle hrany tažníku  $r_{tv}$  upravují skosením pod úhlem  $\beta = 35^\circ$  až  $45^\circ$ . Nebo se ponechá v prvním a předposledním tahu poloměr stejný jako poloměr zaoblení tažnice, tedy  $r_{tv} = r_{tc}$ . [5] [7]

## 5 Technologie protahování

Protahování je proces ohýbání a protahování (obrubování plechu) vnitřních okrajů součástí z tabule plechu (viz obr. 8). Otvor je vyvrtán nebo děrován a materiál kolem otvoru je vtahován do tvaru příruby. Protahování materiálu kolem otvoru vystavuje jeho okraje vysoké tlakové deformaci, což by mohlo vést k prasknutí a roztržení příruby. S růstem poměru průměru příruby k průměru otvoru, vzrůstá úměrně i deformace. [3]



Obr. 8 – Jednotlivé fáze při protahování [3]

### 5.1 Průměr otvoru

Průměr otvoru může být vypočítán dle vzorce [3]:

$$d = D - (2H - 0,86 \cdot r_{tc} - 1,43t) \text{ [mm]} \quad (5.1)$$

kde:

$D$  – průměr otvoru po protahování [mm]

$d$  - průměr otvoru před protahováním [mm]

$H$  – výška příruby [mm]

$r_{tc}$  – poloměr zaoblení tažnice (tab. 3)

$t$  – tloušťka materiálu [mm]

Tloušťka materiálu	Poloměr zaoblení tažnice $R_{tc}$ (mm)
$t < 2$	(4 až 5) $t$
$t > 2$	(2 až 3) $t$

Tab. 3 – Hodnoty poloměru zaoblení tažnice [3]

## 5.2 Výška příruby

Výška příruby je dána vztahem [3]:

$$H = \frac{D-d}{2} + 0,43 \cdot r_{tc} + 0,715 \cdot t \quad [\text{mm}] \quad (5.2)$$

## 5.3 Lemovací síla

Lemovací síla je dána vztahem [3]:

$$F = 1.1\pi \cdot t \cdot R_m \cdot (D-d) \quad [\text{N}] \quad (5.3)$$

kde:

$R_m$  – mez pevnosti v tahu [MPa]



## 6 Maziva pro plošné tváření

Třecí síly mohou mít na tažný proces kladný i záporný vliv. V případě, že umožňují požadovanou deformaci, jsou žádoucí. Brání-li žádané změně tvaru a zvyšují-li odpory, je snahou zmenšit je mazáním. [5]

### Maziva při rotačním tlačení

V procesu rotačního tlačení se používají maziva, jako jsou lůj, jádrové mýdlo, rostlinný olej nebo speciální grafitové pasty. [5]

### Maziva při tažení

Maziva se používají při tažení pro zmenšení koeficientu tření mezi tvářeným materiálem a pracovními částmi tažidel. Třecí síla na čele tažníku je naopak žádoucí, protože zabraňuje posouvání taženého plechu po hraně tažníku. Mazivo chrání zpracovávaný materiál před vznikem povrchových vad a nástroj před opotřebením. Kromě toho dovolují maziva použít vyšších stupňů tažení a tím dosáhnout i vyšší stupeň deformace materiálu. Základní požadavky na maziva pro hluboké tažení jsou:

- schopnost vytvořit pevný souvislý film,
- mazací schopnost,
- schopnost udržení se na mazacích plochách,
- chemická stálost,
- tepelná stálost a odolnost,
- chemická netečnost,
- snadné nanesení a odstranění,
- hygienická nezávadnost,
- ekonomická výhodnost.

Nejčastěji se používají minerální a syntetické oleje, mýdlové emulze, tukové emulze, mazací tuky (rostlinné i živočišné) grafit a sirník molybdeničitý  $\text{MoS}_2$ , mastek apod. [2]

Existuje řada firem, které dodávají průmyslovým firmám v současné době maziva, jako jsou: Zeller + Gmelin s.r.o., Cimcool Europe, Mega a.s.

## 7 Návrh vlastního technologického řešení

Vzhledem k tomu, že experimentální výroba součásti *zářič* rotačním tlačením vykazovala vady, výroba na klasickém ručním kovotlačitelském soustruhu není efektivní a obsluha musí mít značné zkušenosti, byla pro výrobu součásti zvolena technologie hlubokého tažení a protahování na sdruženém nástroji - viz příloha 3.

### 7.1 Popis a funkce součásti

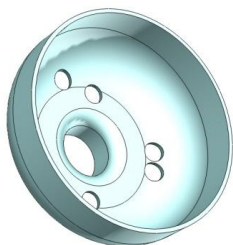
*Zářič* je nedílnou součástí přístroje MiniExplonix, který slouží k detekci trhavin. Funkce této součásti spočívá v umožnění vyzáření tepelného záření z přístroje na určený předmět. Vyzáření teplo odpaří z povrchu předmětu případné molekuly možných trhavin a tyto jsou následně pomocí vzduchového čerpadla dopraveny do přístroje a detekovány.

Z důvodu dobrého vyzáření tepla ze zářiče je požadováno, aby vnitřní povrch zářiče byl leštěn.

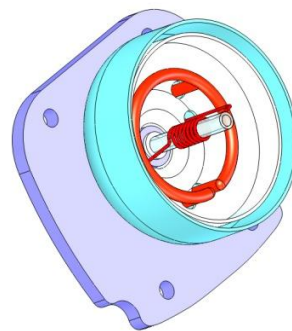
Součást *zářič* (obr. 9) se nachází v podsestavě Horká hlava (obr. 10) která je součástí zmiňovaného přístroje MiniExplonix (obr. 11)

*Zářič* je v současnosti vyráběn třískovým obráběním, a to - soustružením. Výroba se však potýká s problémem, který výrazně snižuje její efektivitu. Po soustružení zůstávají na funkční ploše součásti stopy po obrábění a čas na leštění několikanásobně převyšuje čas předchozí operace. Při tomto způsobu výroby a úpravy povrchu vzrůstají materiálové a mzdové náklady, což je nežádoucí. Z těchto důvodů bylo nutné navrhnout novou technologii výroby této součásti.

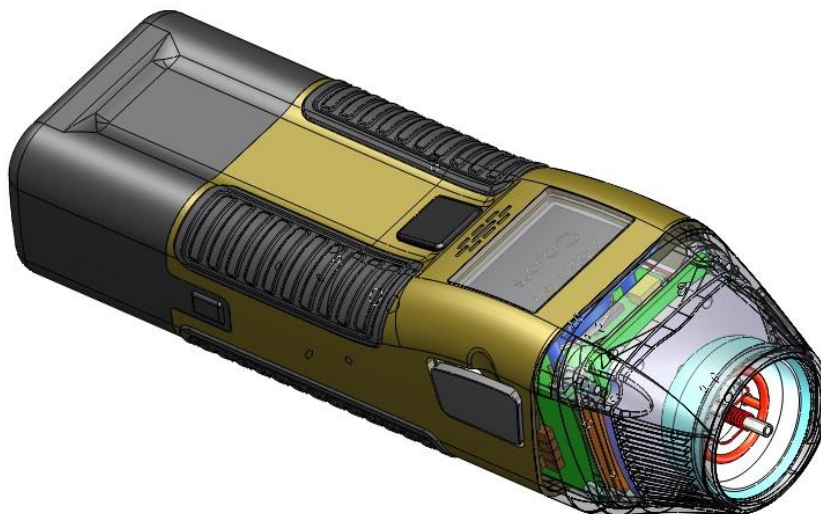
Předpokládaný roční objem výroby je 1000 ks zářičů.



Obr. 9 – Součást zářič



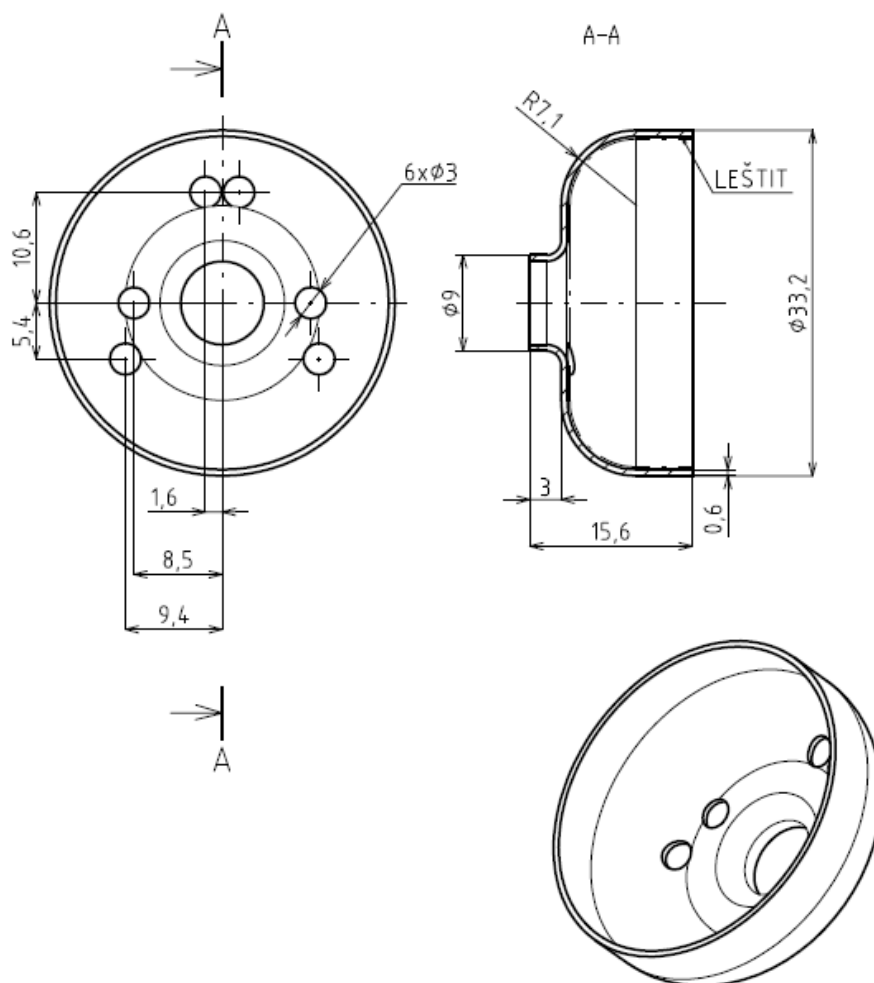
Obr. 10 – Podsestava Horká hlava



Obr. 11 – Přístroj MiniExplonix

## 7.2 Náskres součásti zářič

Na obrázku 12. je nakreslena součást zářič, viz příloha 2.



Obr. 12 – Součást zářič

### 7.3 Zvolený materiál

Jako materiál byl předepsán nerezový plech pod označením 1.4301 dle normy DIN o tloušťce 0,6 mm potažený ochrannou polyetylenovou folií o tloušťce 80  $\mu\text{m}$ .

#### Označení materiálu plechu

- 1.4301
- ČSN 17 240
- DIN X5CrNiS18-10 [8]

#### Použití

Různé součásti např. v potravinářském průmyslu. Ocel je svařitelná, dobře lešitelná, zvláště hlubokotažná, odolná proti opotřebení.

#### Mechanické vlastnosti plechu

- mez pevnosti  $R_m = 540 - 750 \text{ MPa}$
- mez kluzu  $R_e = 220 \text{ MPa}$
- tažnost  $A_{80} = 45\%$

#### Chemické složení

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N
$\leq 0,07$	$\leq 1,00$	$\leq 2,00$	$\leq 0,045$	$\leq 0,030$	17,0-19,5	8,0-10,0	$\leq 0,11$

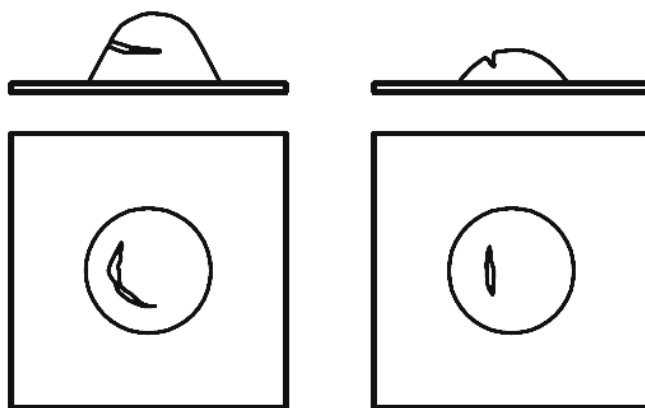
Tab. 4 – Chemické složení plechu [8]

$R_m$ [ MPa ]	$R_p$ [ N · Mm <sup>-2</sup> ]	$A_{80}$ [ % ]
540-750	230	45

Tab. 5 – Mechanické vlastnosti plechu [8]

### 7.4 Zkouška tažnosti

Při experimentální zkoušce na hlubokotažnost plechu byla využita zkouška hloubením podle Erichsena (obr. 13). Bylo využito zkušební zařízení typu F4 na Ústavu strojírenské technologie, odboru tváření VUT FSI Brno.



Obr. 13 – Tvar trhliny při Erichsenově zkoušce hloubením [5]

*a – typický tvar pro hlubokotažný plech, b – nevhodný plech k hlubokotažnému tažení*

### Výsledek zkoušky

Zjištěná hodnota hloubení  $IE = 13$  mm. Tato hodnota plně vyhovuje zvolené technologii zadané součásti tažením na lisu.



Obr. 14 – Vybraný vzorek z Erichsenovy zkoušky

## 8 Technologické výpočty

### 8.1 Výpočet přístřihu

Správný výpočet přístřihu (rondelu) plechu je jedním z nejdůležitějších faktorů pro správné tažení plechu bez následných vad. Velikost přístřihu (rondelu) lze určit grafickou metodou, nebo výpočtem ze vztahu :

$$D = \sqrt{d^2 + 4 \cdot d \cdot h} = \sqrt{32,2^2 + 4 \cdot 32,2 \cdot 12,4} \doteq 53 \text{ mm}$$

kde

D - průměr rondelu [mm]

d - průměr výtažku [mm]

h - výška výtažku [mm]

### 8.2 Počet tažných operací

$$\frac{t}{D_0} \cdot 100 = \frac{0,6}{53} \cdot 100 = 1,13 \text{ [%]}$$

Z poměrné tloušťky polotovaru  $t/D_0 \cdot 100$  vychází 1,13 %. Tomu odpovídá součinitel tažení v intervalu  $1 \div 1,5$  v tabulce 1.  $m_1 = 0,53$ . V této tabulce nejsou blíže specifikovány všechny druhy materiálů a jejich vlastnosti. Pro další postup proto navrhuji pro zadaný materiál (antikorozi ocel) součinitel tažení  $m_1 = 0,6$ .

Potom průměr výtažku v první operaci je:

$$d_1 = m_1 \cdot D_0 = 0,53 \cdot 53 = 28,1 \text{ mm}$$

Potvrzeno experimentem v tažném nástroji.

### 8.3 Nutnost použití přidržovače

$$u = 50 \left( z_s - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) = 50 \left( 1,9 - \frac{\sqrt{0,6}}{\sqrt[3]{53}} \right) = 84,7$$

Platí:

- s přidržovačem

$$u \geq \frac{100 \cdot d}{D_0} \text{ [-]}$$

- bez přidržovače

$$u < \frac{100 \cdot d}{D_0} \text{ [-]}$$

$$\frac{100 \cdot 32,2}{53} = 60,75$$

$84,56 > 60,75 \Rightarrow$  Je nutné použít přidržovač

#### 8.4 Přidržovací síla

Plocha přidržovače:

$$S_D = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 53^2}{4} \doteq 2206 \text{ mm}^2$$

$$S_d = \frac{\pi \cdot d^2}{4} + (2 \cdot r) = \frac{\pi \cdot 33,2^2}{4} + (2 \cdot 3) \doteq 872 \text{ mm}^2$$

$$S = S_D - S_d = 2206 - 872 = 1334 \text{ mm}^2$$

$$F_p = S \cdot p_p = 1334 \cdot 4 \doteq 5336 \text{ N}$$

#### 8.5 Tažná síla

Pro výpočet volím  $R_m = 600 \text{ MPa}$

$$F_t < F_{t \max} = \pi \cdot d \cdot t \cdot R_m = \pi \cdot 32,2 \cdot 0,6 \cdot 600 \doteq 36417 \text{ N}$$

#### 8.6 Celková tažná síla

$$F_c = F_t + F_p = 36417 + 5360 \doteq 41777 \text{ N}$$

#### 8.7 Tažná práce

C – součinitel zaplnění grafu při tažení bez kalibrování – voleno 0,66

$$A = \frac{C \cdot F_c \cdot h}{1000} = \frac{0,66 \cdot 41777 \cdot 11,8}{1000} \doteq 325 \text{ J}$$

#### 8.8 Poloměr zaoblení hran tažníku a tažnice

Poloměr zaoblení hrany tažnice

$$r_{tc} = 0,8 \cdot \sqrt{s_o \cdot (D_o - d)} = 0,8 \cdot \sqrt{0,6 \cdot (53 - 32,2)} = 2,82 \text{ mm}$$

Poloměr zaoblení hrany tažníku

$$r_{tc} = r_{tv} = 2,82 \text{ mm}$$

Pro výrobu a snadnou kontrolu volím zaoblení tažné hrany tažníku a tažnice  $r_{tc} = r_{tv} = 3 \text{ mm}$ .

## 8.9 Tažná mezera

$$z_t = 1,2 \cdot s_0 = 1,2 \cdot 0,6 = 0,72 \text{ mm}$$

## 8.10 Průměr otvoru při lemování

Z tabulky 3. voleno  $r_{tc} = 5 \cdot 0,6 = 3 \text{ mm}$ .

$$d = D - (2H - 0,86 \cdot r_{tc} - 1,43t) = 7,8 - (2 \cdot 3 - 0,86 \cdot 3 - 1,43 \cdot 0,6) = 5,2 \text{ mm}$$

Průměr otvoru byl vyzkoušen experimentálně a jeho hodnota byla zvolena 3 mm.

## 8.11 Výška příruby

$$H = \frac{D-d}{2} + 0,43 \cdot r_{tc} + 0,715 \cdot t = \frac{9-7,8}{2} + 0,43 \cdot 3 + 0,715 \cdot 0,6 = 2,32 \text{ mm}$$

Při experimentu se výška příruby změnila v závislosti na změně průměru otvoru při lemování na požadovanou výšku 3mm.

## 8.12 Lemovací síla

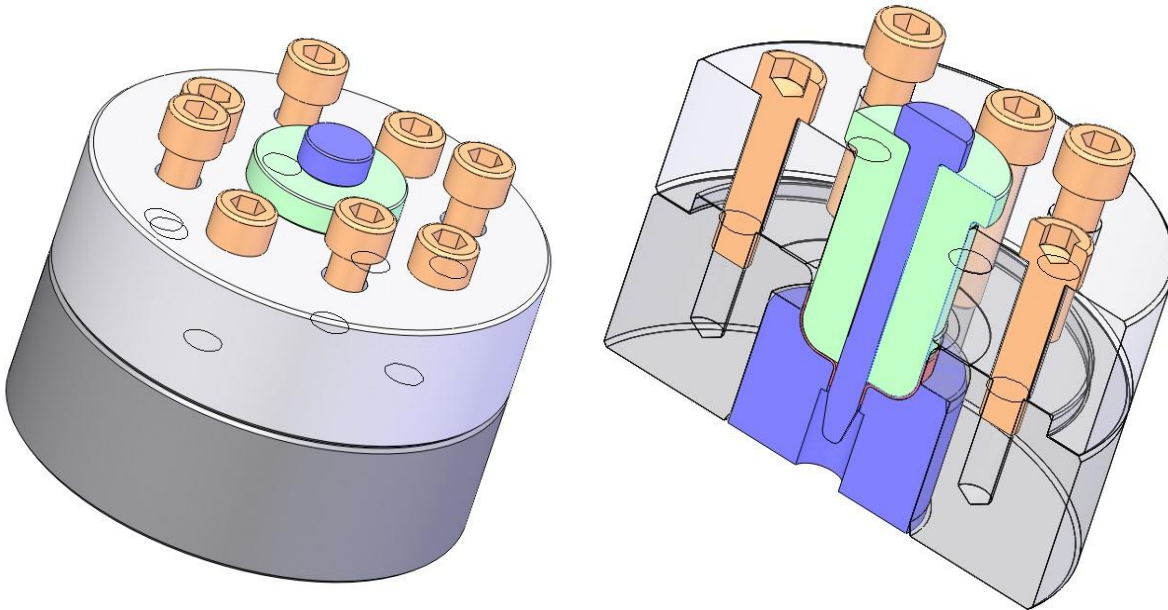
$R_m$  voleno 600 MPa.

$$F = 1,1\pi \cdot t \cdot R_m \cdot (D-d) = 1,1\pi \cdot 0,6 \cdot 600 \cdot (7,8-5,2) \doteq 3235 \text{ N}$$



## 9 Návrh sdruženého experimentálního nástroje

Pro experimentální tažení součásti *zářič* byl vyroben experimentální sdružený nástroj (dále také „SDEN“, viz obr. 13.), viz příloha 3. Tažný nástroj se skládá z tažníku, tažnice, vložky tažnice, přidržovače a trnu pro lemování příruby. Vložka tažnice byla vyrobena vyjímatelná, z důvodu snadného vyjmutí výtažku po procesu tažení. Přidržovač je opatřen čtyřmi průchozími otvory o průměru 10,5 mm, které slouží pro vytvoření přidržovací síly mezi přidržovačem a tažnicí. Dále je přidržovač opatřen čtyřmi pomocnými otvory se závitem M10-6h. Tyto slouží k odtlačení přidržovače s tažnicí po tažení. Tažnice je opatřena otvorem pro vedení lemovacího trnu.



Obr. 13 - Experimentální tažný nástroj

### Postup tažení:

- Rondel se vloží do osazení v tažnici.
- Přidržovač pomocí čtyř šroubů M10x40 DIN 912 přitáhne rondel k tažnici.
- Vložka tažnice se vloží do tažnice a celý nástroj se vloží do ručního šroubového lisu.
- Do přidržovače se vloží tažník, který se pomocí ručního lisu zatlačí do tažnice.
- Po ukončení tažení se do otvoru, který je v tažnici vloží lemovací trn. Tímto trnem se pomocí ručního lisu vytvoří v součásti požadovaný lem.
- Celý nástroj se vyjme z ručního lisu. Uvolní a vyjmou se šrouby M10x40 DIN 912.
- Přidržovač, tažník a lemovací trn se odtlačí od výlisku pomocí šroubů přes čtyři pomocné otvory se závitem M10.

Výsledkem tažení za pomoci experimentálního tažného nástroje je požadovaný rotační výtažek, který je dále nutno zkrátit na požadovanou délku a vyvrtat 4 otvory o průměru 3 mm.

## 10 Ekonomické zhodnocení

V rámci ekonomického zhodnocení budou porovnány dvě metody výroby zářiče:

- původní metoda výroby s využitím soustružení na CNC soustruhu,
- nově navržená metoda s využitím sdruženého experimentálního nástroje.

V sazbách, které jsou použity ve výpočtech, je již zahrnuta výrobní i správní režie. Podíl výrobních nákladů na použitých hodinových sazbách je 78 % výrobní režie, správní režie tvoří podíl 22 %.

### 10.1 Ekonomické aspekty výroby soustružením na CNC soustruhu

Výroba zářiče s využitím soustružení na CNC soustruhu je v současnosti využívána metoda výroby této součásti.

V rámci technologie výroby součásti soustružením na CNC soustruhu spadají do technologického postupu následující operace:

- Zajištění materiálu.
- CNC soustružení.
- Leštění povrchu součásti.

#### 10.1.1 Materiálové náklady

Při výrobě je používána kulatina 1.4305 ve formě tyče o průměru 35 mm. Potřebná délka na výrobu 1 ks je 20 mm.

1ks	Kč	23,3
1ks	kg	0,152
<b>1 000ks</b>	<b>Kč</b>	<b>23 300</b>
1 000ks	kg	152

Tab. 6 – Údaje o hmotnosti a ceně materiálu

Materiálové náklady na 1 000 ks zářičů v tomto případě činí 23 300 Kč.

#### 10.1.2 Výrobní náklady

V rámci výrobních nákladů bude hodnocena nákladovost výroby na CNC soustruhu.

Hodinová sazba práce na CNC soustruhu zahrnuje výrobu a přípravu výroby a činí 900 Kč·hod<sup>-1</sup>. Hodinová sazba leštění povrchu činí 500 Kč·hod<sup>-1</sup>.

	počet sekund	sazba·s <sup>-1</sup>	sazba· s <sup>-1</sup>	cena za jednotku produkce
čas přípravy na CNC soustruhu	3,60	900,00	0,25	0,9
čas 1 výrobního taktu	275,00	900,00	0,25	68,75
čas na přípravu leštění	0,90	500,00	0,14	0,126
čas leštění povrchu součásti	840,00	500,00	0,14	117,6
<b>Celkový čas na výrobu jednotky produkce</b>	<b>1 119,50</b>			<b>187 376</b>

Tab. 7 – Kalkulace výrobních nákladů na jednotku produkce – metoda soustružení

### 10.1.3 Celkové náklady na výrobu součásti metodou soustružení

Z výpočtu materiálových a výrobních nákladů vychází kalkulace celkových nákladů na výrobu součásti stávající metodou.

Celkové náklady na výrobu 1 000 ks zářičů metodou soustružení činí 210 660,00 Kč, viz tabulka 8.

	N á k l a d y n a v ý r o b u s o u č á s t i ( K č )		
	materiálové	výrobní	Celkové VN
1 ks	23,30	187,36	210,66
1 000 ks	23 300,00	187 360,00	<b>210 660,00</b>

Tab. 8 – Celkové náklady na výrobu součásti metodou soustružení

## 10.2 Ekonomické aspekty výroby za použití SDEN

Pro ekonomické zhodnocení jsou v rámci technologie výroby součásti za použití experimentálního nástroje důležité následující operace:

- zajištění polotovaru – rondelů,
- hluboké tažení,
- úprava výtažku soustružením (zkrácení na požadovanou délku),
- CNC frézování otvorů – průměr 3 mm.

### 10.2.1 Zajištění polotovaru – rondelů

Při zajištění polotovarů jsem se rozhodl pro rondely vyrobené technologií laserového dělení materiálu. Hlavní výhodou této technologie je, že odpadá výroba střížného nástroje, skladování a manipulace s tabulemi plechu.

Dle nabídky firmy KOVO-PLAZMA s.r.o. – viz příloha č. 9 je nejvýhodnější využít jednorázovou objednávku celoročního objemu výroby za cenu 5,70 Kč/ks. Dostáváme se tak na nejnížší možné náklady za výrobu těchto polotovarů – viz tabulka č. 9.

V nabízené ceně jsou již zahrnuty náklady na materiál, z něhož bude polotovar vyroben.

počet objednaných ks	1-4	5-9	10-99	100-499	500-999	1 000 a více
cena (Kč)	16	12	6	5,8	5,8	5,7
cena za 1 000ks	16 000,00	12 000,00	6 000,00	5 800,00	5 800,00	5 700,00

Tab. 9 – Náklady na zpracování rondelů dle nabídky firmy KOVO-PLAZMA s.r.o.

Náklady na vypálení 1 000 ks rondelů činí 5 700 Kč.

### 10.2.2 Vytlačení rondelu do tvaru zářiče – dokončení výroby

V rámci výroby metodou využití sdruženého experimentálního nástroje je výtažek následně nutné upravit soustružením a provést vyfrézování otvorů.

	počet sekund	sazba·hod <sup>-1</sup>	sazba·s <sup>-1</sup>	cena za jednotku produkce
čas na přípravu - hluboké tažení	1,20	450,00	0,125	0,15
čas 1 výrobního taktu – hluboké tažení	300,00	450,00	0,125	37,50
čas na přípravu – úprava soustružením	0,90	500,00	0,14	0,13
čas 1 výrobního taktu – úprava soustružením	40,00	500,00	0,14	5,56
čas na přípravu - CNC frézování otvorů	1,80	900,00	0,25	0,45
čas 1 výrobního taktu – CNC frézování otvorů	60,00	900,00	0,25	15,00
<b>Celkový čas na výrobu jednotky produkce</b>	<b>403,90</b>			<b>43,33</b>

Tab. 10 – Kalkulace výrobních nákladů na jednotku produkce – metoda s využitím sdruženého experimentálního nástroje

### 10.2.3 Celkové náklady na výrobu metodou použití SDEN

Z výpočtu nákladů na zajištění polotovaru a na dokončení výroby třemi výrobními operacemi vychází kalkulační celkové náklady na výrobu součásti metodou použití sdruženého experimentálního nástroje.

Celkové náklady na výrobu 1 000 ks zářičů touto metodou soustružení činí 49 030,00 Kč, viz tabulka 11.

	N á k l a d y   n a   v ý r o b u   s o u č á s t i   ( K   č )		
	polotovaz	dokončení výroby	Celkové VN
1ks	5,70	43,33	49,03
1 000ks	5 700,00	43 330,00	<b>49 030,00</b>

Tab. 11 – Celkové náklady na výrobu součásti metodou využití sdruženého experimentálního nástroje

### 10.3 Porovnání ekonomické efektivity obou výrobních metod

V rámci ekonomického zhodnocení byly porovnávány výrobní náklady na zhotovení součásti *zářič*, a to dvěma výrobními metodami.

Jedná se o metodu výroby:

- s využitím soustružení na CNC soustruhu – současná metoda,
- s využitím sdruženého experimentálního nástroje – nově navržená metoda.

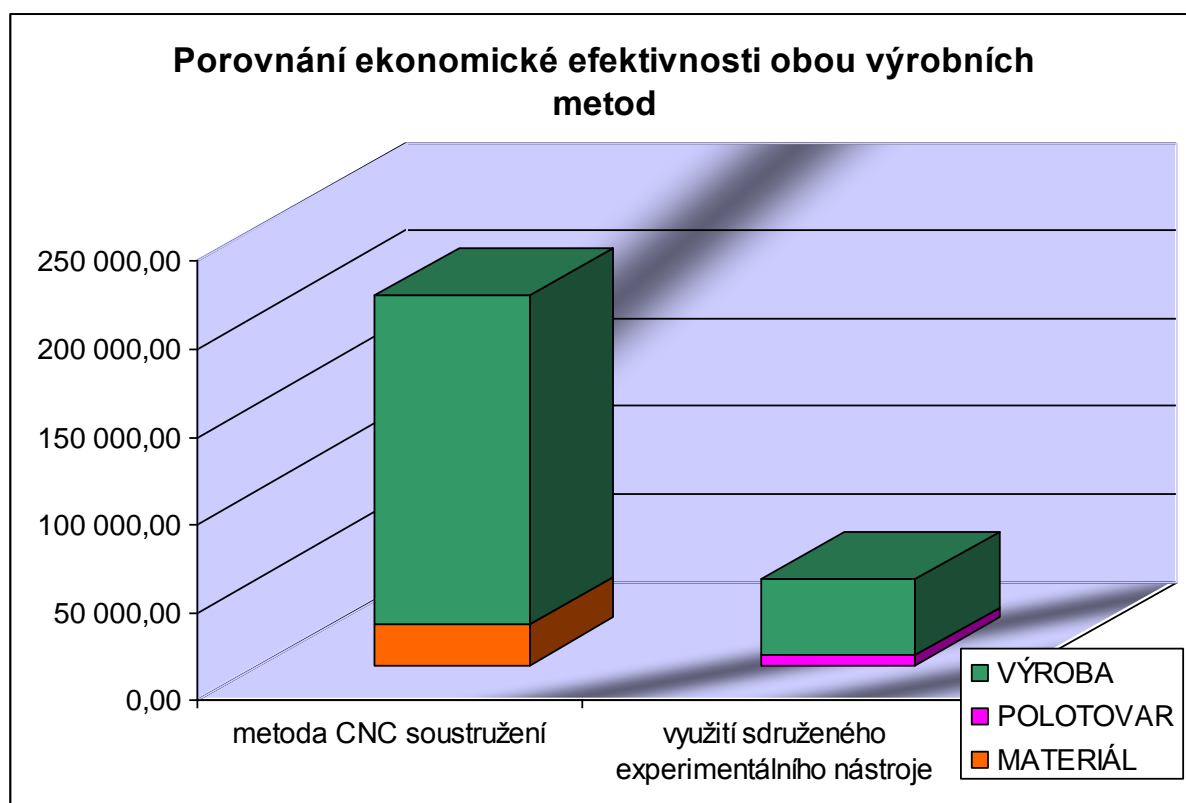
Podle výsledků srovnání výrobních nákladů je zcela jednoznačně ekonomicky výhodnější výroba nově navrhovanou metodou s využitím sdruženého experimentálního nástroje. Při výrobě 1 000 ks součástí *zářič* touto metodou se dostáváme na čtvrtinové výrobní náklady ve srovnání s doposud používanou metodou CNC soustružení.

Tento výrazný rozdíl je určen zejména:

- významnou úsporou materiálových nákladů u metody využití sdruženého experimentálního nástroje,
- velkým podílem manuální práce na leštění povrchu součásti u metody CNC soustružení,
- časem potřebným na výrobu jednotky produkce, který je u metody CNC soustružení téměř trojnásobný.

	MATERIÁL	POLOTOVAR	VÝROBA	Celkové VN na 1 000 ks
Metoda CNC soustružení	23 300,00	0,00	187 360,00	210 660,00
Metoda s využitím sdruženého experimentálního nástroje	0,00	5 700,00	43 330,00	49 030,00

Tab. 12 – Porovnání ekonomické efektivity obou výrobních metod



Graf 3 – Porovnání ekonomické efektivity obou výrobních metod

Z grafického zpracování ekonomického vyhodnocení je zřejmé, že u obou výrobních metod představují stěžejní část celkových VN, náklady na výrobu. Tento poměr je zcela logický a nepřekvapivý, důležitý je však jejich poměr ve srovnání výroby oběma metodami.

Z grafu je mimo jiné zřejmé, že původní výrobní metoda je nejen materiálově, ale také výrobně velmi neefektivní. Celkové výrobní náklady jsou výrazně vyšší, a proto je zcela neekonomické vyrábět nadále součást *zářič* tímto způsobem.

## 11 Závěr

Metoda hlubokého tažení patří mezi technologie plošného tváření. V praxi se jedná o jednu z nejvyužívanějších metod. Její výhody spočívají zejména v úspoře materiálu oproti třískovému obrábění, čímž se snižují výrobní náklady, obzvláště při sériové a hromadné výrobě. Hlavní výhoda hlubokého tažení spočívá v tom, že u výtažku nedochází k porušení vláken a tím se zvyšují jeho mechanické vlastnosti. S výrobky, které vznikají metodou hlubokého tažení se lze setkat zejména v automobilovém a elektrotechnickém průmyslu, ale i ve spotřebním zboží.

Cílem této bakalářské práce bylo, najít pokud možno co nejvhodnější způsob výroby součásti *zářič* při zachování požadované kvality, zároveň však co nejekonomičtěji, tedy za předpokladu snížení celkových výrobních nákladů. Dále měly být výrobní metody porovnány a vyhodnoceny.

Součást *zářič* je vyráběna metodou CNC soustružení. Bylo tedy nutné najít nový způsob výroby, při zachování, respektive zvýšení výrobní a ekonomické efektivity. Byla tedy navržena metoda výroby za použití sdruženého experimentálního nástroje.

Nově navržená metoda je z ekonomického a výrobního hlediska podstatně výhodnější než metoda stávající. Tato výrobní metoda přináší inovaci nejen v použitém materiálu, ale zároveň výrazně snižuje podíl manuální práce i přesto, že se zvýší počet výrobních operací. Součást *zářič* bude vyráběna z nerezového plechu 1.4305. Zhotovení součásti je provedeno na jednu tažnou operaci z přístřihu o průměru 53 mm, což potvrdily i výpočty. Na výrobu součásti *zářič* byl zkonstruován a vyroben tažný nástroj. Výkresová dokumentace k tomuto nástroji je součástí přílohy.

Základem pro rozhodování o volbě výrobní metody jsou vždy ekonomické aspekty, které sebou produkce přináší. Hlavním cílem je vždy dosáhnout efektivní výroby s co možná nejnižšími náklady za předpokladu zachování jakosti. V našem případě se výrazně ekonomicky výhodnější variantou stává nově navržená výrobní metoda, která předpokládá využití sdruženého experimentálního nástroje. V případě aplikace tohoto postupu pro produkci jednoho tisíce kusů součásti *zářič* se dostáváme ve srovnání s původní metodou na méně než třetinové výrobní náklady. Tento nezanedbatelný rozdíl a výsledek by měl jednoznačně vést ekonomické rozhodování k co možná nejrychlejší změně ve prospěch této navržené výrobní metody.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. 1.vyd. Bratislava: STU, 2010. 245 s. ISBN 978-80-227-3242-0.
- [2] BAREŠ, Karel, et al. *Lisování*. Vydání první. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1971. 544 s. L13-E1-IV-41/22221/X.
- [3] BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet Metal Forming Processes and Die Design*. 1.st. ed. New York: Industrial Press. 2004. 219p. ISBN 0-8311-3182-9.
- [4] DVOŘÁK, Milan, et al. *TECHNOLOGIE II*. 3. doplněné vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
- [5] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ: PLOŠNÉ A OBJEMOVÉ TVÁŘENÍ*. 2. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
- [6] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ: Návodý do cvičení*. 2. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 103 s. ISBN 80-214-2881-3
- [7] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [8] FÜRBAACHER, Ivan. *LEXIKON OCELÍ: Materiálové listy se zahraničními materiály, svazek 2. ZÁKLADNÍ DÍLO* aktuální stav září 2009 - včetně 13. aktualizace. Plzeň: Dashofer Holding & Verlag Dashöfer, nakladatelství, s.r.o., 2009. ISSN 1802-3029.
- [9] MACHEK, Václav, Ladislav VESELÝ, Milan VESELÝ a Jaroslav VIŠŇÁK. *Zpracování tenkých plechů*. Vydání první. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n.p., 1982. 272 s. L13-B2-IV-41/22539.

## Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
A	[mm]	tažná práce
D	[mm]	průměr otvoru před protahováním
F	[N]	lemovací síla
H	[mm]	výška příruby
K	[-]	stupeň deformace
S	[mm <sup>2</sup> ]	účinná plocha přidržovače
IE	[mm]	hodnota hloubení podle Erichsena
IT	[-]	toleranční pole
VN	[-]	výrobní náklady
A <sub>80</sub>	[%]	tažnost
D <sub>0</sub>	[mm]	průměr přístřihu
F <sub>c</sub>	[N]	celková síla při tažení
F <sub>p</sub>	[MPa]	přidržovací síla
F <sub>t</sub>	[N]	skutečná tažná síla
R <sub>a</sub>	[μm]	struktura povrchu
R <sub>c</sub>	[MPa]	mez kluzu
R <sub>m</sub>	[MPa]	mez pevnosti v tahu
S <sub>pol.</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	plocha polotovaru
S <sub>výt</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	plocha výtažku
d	[mm]	průměr otvoru po protahování
h	[mm]	vnitřní výška výtažku
n	[-]	počet nezbytných tažných operací
v	[mm]	střižná vůle
z	[mm]	střižná mezera
d <sub>otv</sub>	[mm]	průměr otvoru
h <sub>d</sub>	[mm]	vzdálenost otvoru ode dna výtažku
p <sub>p</sub>	[MPa]	měrný tlak přidržovače
t <sub>tc</sub>	[mm]	poloměr tažné hrany tažnice
r <sub>tv</sub>	[mm]	poloměr tažné hrany tažníku
t <sub>0</sub>	[mm]	tloušťka materiálu před rotačním tlačení
t <sub>1</sub>	[mm]	tloušťka materiálu po rotačním tlačení
Z <sub>s</sub>	[-]	materiálová konstanta
Z <sub>t</sub>	[mm]	tažná mezera
β	[°]	odstupňované průměry mezi přechody výtažků
ε	[-]	dosažitelný stupeň deformace



## Seznam příloh

Příloha 1	Výkres výtažku	ZÁŘIČ – 3K1 – BP - 1
Příloha 2	Výkres součásti	ZÁŘIČ – 3K1 – BP - 2
Příloha 3	Výkres sestavy	TAŽNÝ NÁSTROJ – 3K1 – BP - S1
Příloha 4	Výkres součásti	TAŽNICE - 3K1 – BP - S2
Příloha 5	Výkres součásti	VLOŽKA TAŽNICE – 3K1 – BP - S3
Příloha 6	Výkres součásti	PŘIDRŽOVAČ – 3K1 – BP - S4
Příloha 7	Výkres součásti	TAŽNÍK – 3K1 – BP - S5
Příloha 8	Výkres součásti	TAŽNÍK pr. 8 mm – 3K1 – BP-S6
Příloha 9	Cenová nabídka	CN/2011/598